

## Исследование термодинамических параметров вещества при воздействии интенсивных потоков энергии

Грачков Алексей Александрович

Южно-Уральский государственный университет

Лейви Артём Ячеславович, к.ф.-м.н.

[leshaagrachkov@gmail.com](mailto:leshaagrachkov@gmail.com)

Обработка конструкционных материалов интенсивными потоками энергии (с плотностью мощности  $10^5$ - $10^8$  Вт/см<sup>2</sup>) является одним из перспективных методов улучшения их трибологических свойств. Быстрый ввод энергии в вещество приводит к модификации структурно-фазового состава, изменению рельефа поверхности. Что сопровождается увеличением прочности, износостойкости и эрозионной устойчивости.

Для описания процессов, протекающих в веществе при воздействии интенсивных потоков энергии, необходимо понимание процесса эволюции термодинамических параметров среды, как на этапе облучения, так и в последующие моменты времени, когда протекают процессы релаксации среды к новому равновесному состоянию. Поэтому в работе происходит расчёт термодинамических параметров. Система уравнений, описывающая эволюцию термодинамических параметров среды при воздействии на неё потоков излучения, включает: уравнения для расчета функции энерговыделения в облучаемой среде; уравнения механики сплошной среды; широкодиапазонное уравнение состояния. Рассмотрим соответствующую одномерную систему уравнений.

Пусть поток плазмы или ускоренных заряженных частиц падает на плоскую многослойную мишень. Ось  $z$  направлена перпендикулярно плоскости мишени. Система уравнений, описывающая одномерные нестационарные упругопластические течения, в лагранжевых переменных имеет вид (обозначения, введенные выше, сохранены):

$$\rho \dot{v} = \frac{\partial \sigma_{zz}}{\partial z}, \quad (1)$$

$$\frac{\dot{V}}{V} = \frac{\partial v}{\partial z}, \quad (2)$$

$$\rho \frac{dU}{dt} = \sigma_{zz} \frac{\dot{V}}{V} + \frac{\partial}{\partial z} \left( \mathfrak{N} \frac{\partial T}{\partial z} \right) + D(z, t), \quad (3)$$

где  $\sigma_{ik}$  - неравновесное напряжение,  $D$  - функция энерговыделения, которая определена при корпускулярном облучении и находится из решения соответствующего кинетического уравнения. При облучении плазменным потоком  $D = 0$ , а передача энергии мишени описывается заданным на облучаемой поверхности тепловым потоком.

Неравновесная компонента тензора напряжений (4):

$$\sigma_{zz} = -P^0(\rho, T) + S_{zz}^0 = \delta \sigma, \quad (4)$$

где  $P^0 = P^0(\rho, T)$  - давление, которое определяется из широкодиапазонного уравнения состояния, неравновесная добавка  $\delta \sigma$  определяется согласно (1). Заметим, что в одномерном случае поперечные деформации отсутствуют и  $T_{xx}^0 = T_{yy}^0 = \delta T_{xx} = \delta T_{yy} = 0$ .

В модели текучести Мизеса уравнения для девиаторов напряжений имеют вид:

$$\dot{S}_{zz}^0 = \frac{4}{3} \mu \frac{\partial v}{\partial z}, \quad (5)$$

$$\dot{S}_{xx}^0 = \dot{S}_{zz}^0 = -\frac{2}{3} \mu \frac{\partial v}{\partial z}, \quad (6)$$

которые дополняются условием текучести Мизеса (4).

Полученная система уравнений решалась численно. На первом этапе верификации полученной модели проводилось сравнение решения уравнения теплопроводности.

Для сравнения брались решения, сделанные с помощью метода явных и неявных схем, а также с помощью аналитического решения. Временной и пространственный шаг брались согласно (3) для обеспечения устойчивости.

Для тестового расчета была взята задача: стержень железа длиной 10 см, в начальный момент времени стержень находился при нормальных условиях, граничные условия слева  $T = 700$  К, справа  $T = 900$  К.

На (рис. 1) представлено поле температуры по длине стержня на различные моменты времени. Из рисунка видно, что стержень начинает нагреваться. Аналитическое решение представлено линией, чёрным пунктиром – метод явных схем, серым пунктиром – метод неявных схем. Видно, что неявной схемой, не соблюдая условие устойчивости, некорректно удалось рассчитать поле температур.

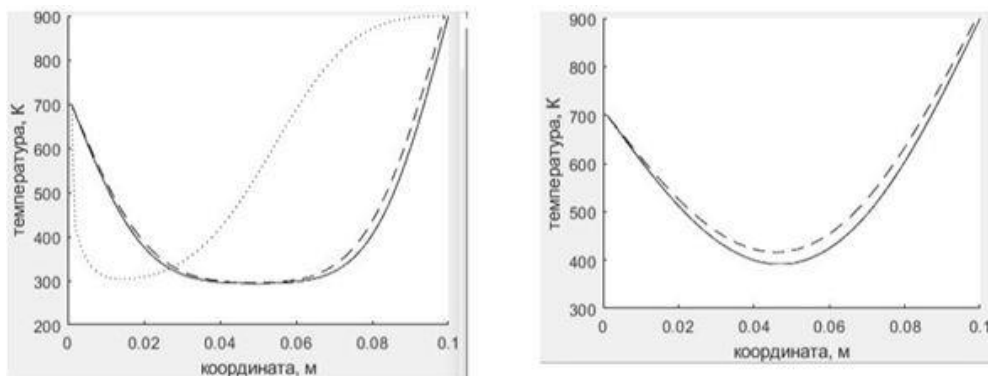


рис.1. Решения различными методами при  $t = 5 \text{ c}$  и  $t = 20 \text{ c}$

В дальнейшем планируется провести тестовые расчеты уравнения движения и численных исследований термодинамических параметров вещества при различных способах нагрева.

Были получены решения, имеющие разную степень точности. Можно сделать вывод о том, что степень точности приближенного решения зависит от периода сетки разбиения поля и от соблюдения условия устойчивости.

Список публикаций:

- [1]. Лейви А. Я., Яловец А.П. Моделирование воздействия интенсивных плазменных потоков на вещество. //Челябинск. 2016
- [2] Уилкинс, М.Л.. Расчет упругопластических течений. / М.Л. Уилкинс. // В кн. Вычислительные методы в гидродинамике. Мир, 1967, 384с
- [3] Самарский А. А. // Введение в численные методы. 2003. С. 271.
- [4] Тихонов А.Н., Самарский А. А // Уравнения математической физики. 1977. 5 изд. С.728.

## Влияние одноосного давления на электроемкость защитных органических пленок

**Гринёва Дарья Александровна**  
**Демченко Александра Александровна**  
Южный федеральный университет  
Шпанько Светлана Павловна, к.х.н.  
[grineva.dasha1999@yandex.ru](mailto:grineva.dasha1999@yandex.ru)

За несколько последних десятилетий образовался и бурно развивается новый раздел микроэлектроники, который называется молекулярной электроникой [1]. Ее называют электроникой 21 века. В частности, кремниевые транзисторы, составляющие основу электронных устройств современной микроэлектроники, предполагается заменить молекулярными. Это увеличивает плотность упаковки микросхем в интегральном исполнении, во много раз повышает быстродействие их работы, изменяет их механические свойства. В этой связи широко исследуются свойства различных молекулярных материалов, в том числе и органических пленок.

Ранее [2], для увеличения низкой коррозионной стойкости железа в агрессивных средах универсальным и экономичным методом были получены адсорбционных пленки на основе гетероциклического соединения класса имидазола. Они в десятки раз уменьшают скорость коррозии железа. При изучении их электрических свойств было установлено [3], что проводимость данных пленок близка к металлической, а реактивное сопротивление, сильно зависящее от частоты, имеет индуктивный характер. Отрицательное значение емкости ( $C_n < 0$ ) различных материалов в последнее время получено уже неоднократно, имеет теоретическое объяснение, однако воспринимается с некоторым недоверием.

Нами проведен эксперимент, подтверждающий, что данные пленки действительно имеют  $C_n < 0$ . Выполнены измерения электроемкости пленки, параллельно соединенной с конденсатором известной емкости на частоте 100 Гц. Емкость используемых конденсаторов варьировалась в широком диапазоне. На (рис.1) представлена в логарифмическом масштабе зависимость  $C_x = f(C_k)$ . Здесь  $C_k$  – емкость конденсатора,  $C_x$  – результирующая емкость пленки и конденсатора.  $C_x = C_n + C_k$ . Видно, что значения  $C_x$  принимают значения как больше нуля, где  $C_k > |C_n|$ , так и меньше, где  $|C_n| > C_k$ . Кривая пересекает ось абсцисс. Здесь  $C_x = 0$ , а  $|C_n| = C_k$ .